

쌍안정 TN LCD의 광투과 특성

최길재 · 김양수 · 강기형 · 정태혁 · 윤태훈 · 김재창 · 남기곤 · 이응상*

부산대학교 전자공학과, 컴퓨터 및 정보통신연구소

*삼성전관(주)

(1997년 3월 10일 받음)

빠른 응답 속도와 높은 콘트라스트 비를 갖는 쌍안정 TN(BTN: Bistable Twisted Nematic)셀을 제작하여 전기 광학 특성을 조사하고 쌍안정 특성을 갖기 위한 BTN셀의 동작 조건 및 인가 파형의 특성을 조사하였다. 인가 파형의 reset펄스와 selection펄스의 크기와 폭이 BTN셀의 쌍안정 특성에 미치는 영향과 메모리 시간을 조사하였다. 또한 rubbing강도에 따라 pretilt각을 변화시켜 쌍안정 특성을 보이는 두께와 pitch와의 비의 범위를 구하였다.

I. 서 론

정보화 시대가 열리면서 시각정보에 대한 요구가 날로 증가하고 있으며, 이에 따라 디스플레이 산업이 정보화시대에 차지하는 비중이 더욱 높아지고 있다. LCD(Liquid Crystal Display)는 부피가 작으면서 대형화면이 가능하며, 휴대도 간편하고 저소비 전력이므로 현재의 CRT를 대체할 수 있는 가장 유력한 표시소자이다.^[1] 최근 LCD산업은 급격한 성장을 거듭하고 있으며, PDA(Personal Digital Assistant)와 같은 개인 휴대용 통신기기의 수요 증가와 TV, 모니터 등의 기존 표시 장치에 대한 경량, 박형, 고화질에 대한 요구가 더욱 증가함에 따라 LCD산업은 더욱 성장할 것으로 기대된다. 또한 LCD는 전자파를 발생하지 않기 때문에 환경적 관점에서도 CRT와의 비교 우위를 확보할 수 있으며, 표시소자로서의 기능 뿐만 아니라 간단한 셔터, light valve, 비선형장치, 전압조정 편향기, 광도파로 등에도 응용될 수 있어 앞으로 더 큰 시장을 형성할 것으로 보고 있다.

LCD시장은 TFT(Thin Film Transistor) LCD와 STN(Super-Twisted Nematic) LCD로 양분되어 있었으나, 최근 TFT LCD의 가격 하락으로 TFT LCD가 STN LCD를 대체해 나가고 있다. TFT LCD는 우수한 표시 품질과 빠른 스위칭 속도로 인해 주로 대화면용과 고화질용으로 많이 이용된다.^[2,3] 그러나, 대화면의 경우 복잡한 반도체 제조 공정으로 인해 생산 수율이 낮고 제조 단가가 여전히 비싼 단점이 있다. STN LCD는 제조공정이 TFT LCD보다 덜 복잡하고 가격이 싼 반면 응답 속도가 느리며, 대화면 구동시 동화상 구현의 어려움 때문에 중·소형 디스플레이에 적합하다.

TFT LCD나 STN LCD의 결점을 보완할 수 있는 평판 표시소자에 대한 연구가 여러 분야에서 계속 진행되고 있다. BTN LCD는 최근에 관심을 불러 일으킨 액정 표시 방식으로 쌍안정 특성을 가지고 있으며,^[4-6] 저전력 동작이 가능하고 시야각이 넓다. 또한 콘트라스트 비가 높고 스위칭 속도가 빨라 동화상 구현에도 응용될 수 있다.^[7] 특히, 패널 제작시 이미 상용화된 STN LCD의 제조 기술을 상당 부분 그대로 이용할

수 있으므로 제조 단가를 크게 낮출 수 있을 것으로 생각된다. LCD가 미래 정보화 사회의 표시소자로서 주도적인 역할을 하기 위한 조건들로 대용량화, 고화질화, 저가격화, 저소비 전력화 등을 들 수 있는데, BTN LCD는 이러한 조건들을 충분히 만족하는 대안이라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 BTN액정 셀을 제작해 BTN액정의 쌍안정 특성을 확인하였다. BTN액정 셀이 쌍안정 특성을 갖기 위한 d/p 의 범위와 reset전압과 selection전압의 크기와 폭이 쌍안정 특성에 미치는 영향과 메모리 특성을 조사하였다.

II. BTN 셀의 동작원리와 제작

2.1. BTN 셀의 동작원리

BTN 셀은 네마틱 액정에 카이랄 물질을 첨가하여 원하는 꼬임각을 갖도록 한 액정 표시소자로 동작 원리는 다음과 같다. 전압을 인가하지 않은 초기상태에서 꼬임각 ϕ 가 180° 일 때 셀 내의 액정 분자들의 배향 상태는 그림 1(a)와 같다. 이러한 초기상태에 전압을 인가하면 액정 분자가 전체 방향으로 서게 되며, 이 때의 전압을 Freedericksz전압이라 한다. Freedericksz전압 이상의 reset전압, V_r 을 인가하면 셀의 중앙 부분의 액정분자가 기판면에 대해 거의 90° 로 서게 되는 reset상태가 된다.^[8-12] 그림 1(b)에 reset상태에서의 액정 분자들의 분포를 나타내었다. 이러한 reset상태에서 다음에 인가해 주는 selection전압 V_s 의 크기에 따라 서로 다른 두 가지의 준안정상태를 가지게 된다. 이 때 두 가지 준안정상태 중 하나를 선택하기 위한 경계가 되는 전압을 임계 전압 V_{th} 라 한다. Reset펄스를 제거하면 액정 분자들은 일어설 때의 방향과 반대 방향으로 눕게 된다. 이 때 V_{th} 보다 큰 selection전압을 인가하면 액정 분자들은 selection전압에 의해 셀 표면에 대해 90° 로 다시 서게 되고, selection전압을 제거하면 일어설 때의 방향으로 눕게 되며 전체 꼬임각이 $\phi=180^\circ(0^\circ)$ 인 준안정상태로 전이하게 되며 이 때의 액정 분포는 그림 1(c)와 같다. 반면 V_{th} 보다 작은 selection전압을 인가하면 액정 분자의 운동에 영향을 주지 못해 액정 분자는 그대로 운동을 계속해 꼬임

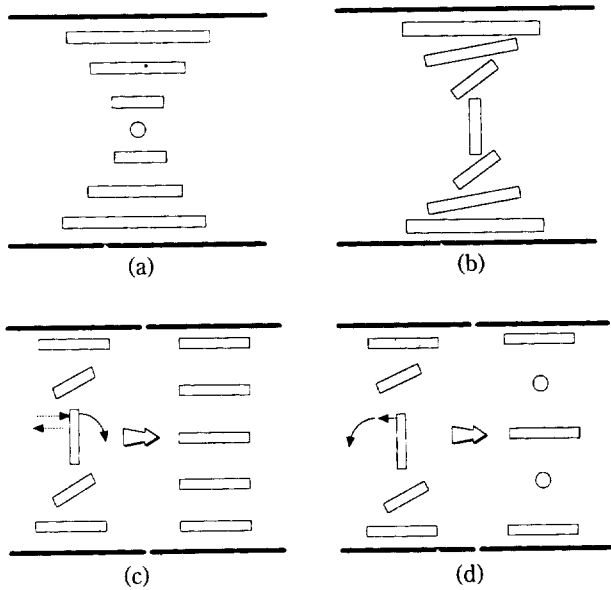


그림 1. 액정 분자들의 분포 상태.

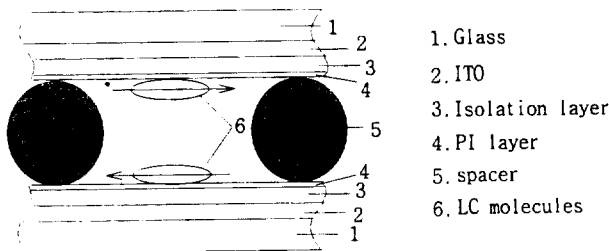


그림 2. BTN셀의 구조.

각이 $\phi + 180^\circ (360^\circ)$ 인 준안정상상태로 전이하게 되며, 이 때의 액정 분포는 그림 1(d)와 같다. 이렇게 선택된 두 가지의 준안정상상태는 오랜 시간 그 상태를 유지하게 되는 메모리 효과를 가진다. 즉, Freedericksz전이 후에 어느 쪽의 준안정상상태를 유지하는지는 reset 펄스 후 인가하는 selection 펄스의 파형에 의존하며^[8,9,12] 선택된 준안정상상태는 어느 쪽이나 전이된 상태를 오랜 시간 유지하게 된다. 또 BTN셀은 두 가지 준안정상상태를 빠른 속도로 스위칭하기 때문에 응답속도가 느려 구동 라인수에 제한을 받는 STN의 단점을 극복할 수 있다.

2.2. BTN셀의 제작과 쌍안정 특성 확인

BTN셀의 구조는 그림 2와 같다. 유리 기판위에 투명전극, 절연막, 배향막을 차례로 입히고 원하는 방향으로 액정 분자가 배열되도록 rubbing 처리를 한다. 꼬임각이 180° 인 셀을 얻기 위해 상하 기판을 서로 반대 방향으로 rubbing하고 스페이서를 사용해 셀의 두께를 일정하게 유지한다. 액정의 꼬임각이 180° 가 되도록 카이랄 물질을 첨가한 네마틱 액정을 셀에 주입한 후 자외선 경화제를 이용하여 봉합한다.

실험에 사용한 네마틱 액정과 카이랄 물질은 E. Merck 사의 ZLI-1557과 ZLI-811이며 제작된 BTN 셀의 조건을 표 1에 나타내었으며, 셀 간격은 $3 \mu\text{m}$ 이다. 그리고 콘트라스트 비를 최대로 하기 위해 편광판과 rubbing 방향과의 각도는 각각

표 1. BTN셀의 조건

LC	ZLI-1557
Chiral dopant	ZLI-811
Cell gap	$2.0 \mu\text{m}$
d/p	0.6
Rubbing direction	180° (rubbing depth : 0.5 mm)
Polarizer angle (with respect to rubbing direction)	$45^\circ / -45^\circ$
PI layer	SE-3310 (800A)
Isolation layer	RTZ-1065D (800 A)

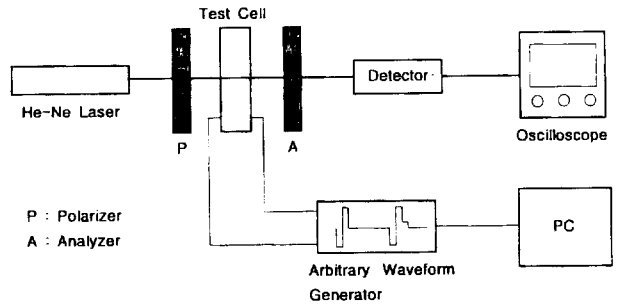


그림 3. BTN셀의 광투과 특성 실험 구성도.

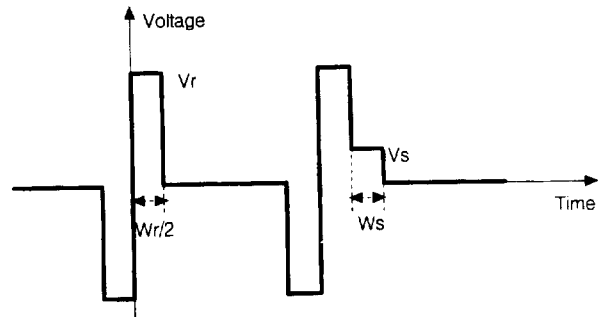


그림 4. BTN셀의 인가 전압 파형.

$+45^\circ, 45^\circ$ 로 하였다.

제작된 BTN셀의 쌍안정 특성을 그림 3과 같이 구성하여 측정하였다. 광원으로는 파장이 632.8 nm 인 He-Ne레이저를 사용하였으며, 액정 셀의 전후에 편광판을 부착해 액정 셀을 통과한 빛을 광 검출기를 통해 오실로스코프로 관측하였다. 그리고 액정 셀에는 임의 파형 발생기에서 만든 그림 4와 같은 펄스 파형을 인가하였다. 여기서 V_r, W_r 은 reset 펄스의 크기와 폭이고, V_s, W_s 는 selection 펄스의 크기와 폭이다.

선택되는 준안정상상태는 reset 펄스 후 인가하는 전압 파형에 따라 달라진다. 그림 4의 인가 전압 파형에서 $|V_r|$ 이 Freedericksz 전압 이상이고 $|V_s| > V_m$ 이면 0° 의 준안정상상태가 선택되고 $|V_s| < V_m$ 이면 360° 의 준안정상상태가 선택된다. 그림 4와 같은 전압 파형을 인가했을 때의 전기 광학 특성은 그림 5와 같다. Reset 펄스의 크기와 폭은 각각 30 V, 2 ms이고 selection 펄스의 크기와 폭은 각각 3 V, 1 ms이다. Rising time이 4 ms이고 falling time이 $20 \mu\text{s}$ 로 STN에 비해 약 200배 이상 빠른 응답속도를 가진다. 또한 편광판과 rubbing 방향이 이루는 각도를 $45^\circ, -45^\circ$ 로 했을 때 OFF시 빛이 통과하지 않으므로 높은 콘트라스트 비와 높은 ON투과율을 가지는 것을 알 수 있다.

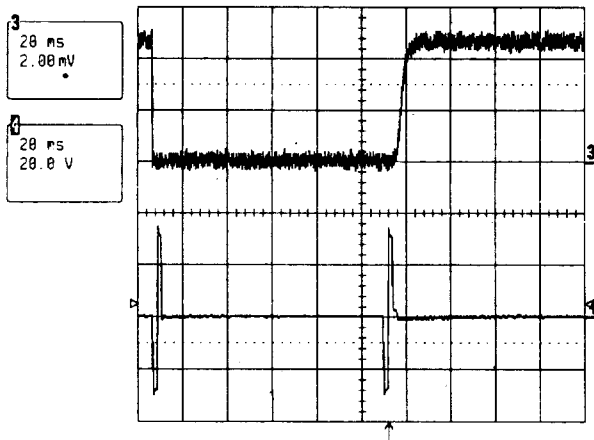


그림 5. BTN 셀의 광투과 특성.

III. BTN셀의 동작 조건 결정

BTN셀이 쌍안정 특성을 갖기 위한 조건을 찾기 위해 인가하는 전압 파형과 BTN셀의 두께(d)와 액정의 pitch(p)와의 비, d/p 를 변화시키면서 동작 특성을 조사하였다. BTN셀의 쌍안정 특성에 영향을 미치는 가장 중요한 파라미터는 d/p 이므로 이를 변화시켜 쌍안정 특성을 갖기 위한 d/p 의 범위를 구하고, 또한 액정 셀에 인가하는 reset펄스와 selection펄스의 크기와 폭을 변화시켜 BTN셀의 쌍안정 특성에 미치는 영향 및 메모리 시간을 조사하였다.

3.1. d/p 에 따른 BTN셀의 동작 특성

BTN셀이 쌍안정 특성을 나타내기 위해서는 액정 셀의 두께와 pitch와의 비, d/p 가 중요하다. 여기서 액정의 pitch는 꼬인 구조의 액정에서, 360° 꼬이는 길이이며, 네마틱 액정에 chiral 물질을 첨가해 조절할 수 있다. 쌍안정 특성이 나타나는 d/p 의 범위는 초기상태에서 셀 표면과 액정 분자간의 tilt 각에 영향을 받을 것으로 생각된다. 따라서 초기상태에서 셀 표면의 액정 분자의 pretilt각에 영향을 주는 rubbing강도를 변화시키면서 쌍안정 특성이 나타나는 d/p 의 범위를 조사하였다. rubbing강도에 따른 액정의 pretilt각을 결정 회전법⁽¹³⁾에 의하여 측정하여, 액정의 pretilt 각에 대한 쌍안정 특성이 나타나는 d/p 의 범위를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 쌍안정 특성을 나타내는 d/p 의 범위는 $0.585 < d/p < 0.755$ 이며, 액정의 pretilt각이 작아수록 쌍안정 특성을 나타내는 d/p 의 범위가 넓어진다. 그리고 쌍안정 특성을 나타내는 액정 셀의 두께는 $1.8 \mu\text{m} \sim 4.1 \mu\text{m}$ 였다.

그림 6에서 d/p 의 값이 0.5보다 큰 값에서 쌍안정 특성이 나타난 것을 볼 수 있다. 두 가지 준안정상태를 나타내기 위해서는 d/p 값이 액정의 꼬임각이 180° 가 되는 0.5를 기준으로 대칭적으로 나타날 것으로 보았으나 0.5이상으로 치우친 것으로 보아 두 가지 준안정상태 중 0° 의 준안정상태가 더 안정하다고 본다. 그리고 비록 d/p 값이 쌍안정 특성을 가지기 위한 범위에 포함된다 하더라도 BTN셀 전체의 균일도가 좋지 않으면 쌍안정 특성이 나타나지 않게 되므로 두께가 균일하

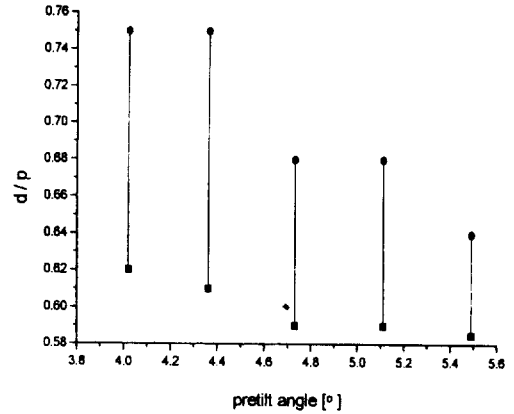


그림 6. BTN셀이 쌍안정 특성을 나타내는 액정의 틸트각에 따른 d/p 의 범위.

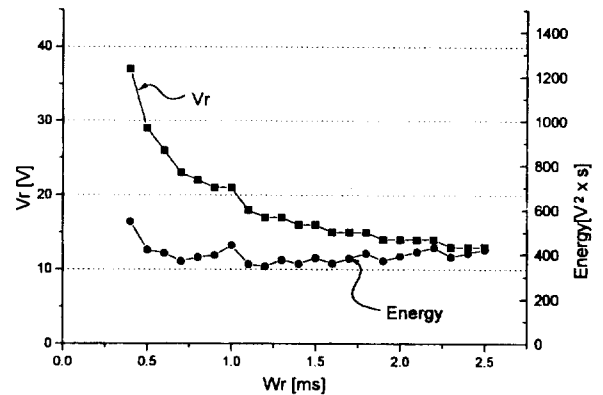


그림 7. 쌍안정 특성을 위한 reset펄스의 폭에 따른 최소 전압과 최소 에너지.

도록 셀을 제작하는 것이 중요하다.

BTN셀의 구동에 있어서 선택된 두 가지 준안정상태간의 안정성이 중요하다. 준안정상태의 안정성은 d/p 의 값에 크게 의존하는데 d/p 값이 하한값에 가까우면 360° 상태가 불안정하게 되며, d/p 값이 상한값에 가까우면 0° 상태가 불안정하게 된다. 따라서 준안정상태간의 안정성을 고려하여 d/p 값을 선택하여야 한다.

3.2. 인가 전압 파형의 크기와 폭에 따른 BTN셀의 동작 특성

BTN셀을 구동하기 위해서는 먼저 액정 셀의 중앙 부분에서 액정 분자들이 기판 표면에 대해 거의 90° 로 서게 되는 reset상태를 만들어 주어야 한다. 만약 reset상태를 거치지 않으면 두 가지 준안정상태로 전이할 수 없다. 그리고 reset 상태로 바뀌고 나면 다음에 인가하는 selection전압에 의해 두 가지 준안정상태중 한 상태를 선택하여 그 상태를 긴 시간동안 유지한다.

먼저 reset펄스의 크기와 폭이 BTN셀의 쌍안정 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 그림 4와 같은 인가 전압 파형에서 selection펄스의 크기와 폭은 3 V, 1 ms로 고정시키고 reset펄스의 크기와 폭을 변화시키면서 BTN셀이 쌍안정 특성을 나타내는 범위를 조사하여 그림 7에 나타내었다.

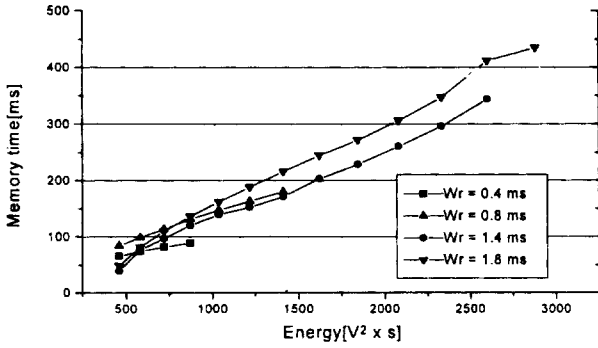


그림 8. Reset펄스의 에너지에 따른 BTN셀의 메모리 특성.

그림 7을 보면 BTN셀이 쌍안정 특성을 나타내기 위해서는 reset펄스의 폭이 크기의 제곱에 반비례함을 알 수 있다. 예로, 폭이 400 μ s일 때 크기는 37 V 이상이어야 하며 폭이 2 ms일 경우 크기는 14 V 이상이어야 한다. 그리고 reset펄스의 폭을 변화시키면서 reset상태가 되기 위해 필요한 최소 에너지의 관계를 살펴 보면 그림 7에서처럼 거의 일정함을 알 수가 있다. 따라서 액정 셀에 인가되는 에너지가 어느 값 이상이면 reset상태에 도달할 수 있으며 그리고 에너지를 증가시키면 선택된 준안정상태가 유지되는 메모리 시간(memory time)이 증가하는 것을 실험으로 확인할 수 있었다.

각각의 인가 전압 파형에 따라서 선택된 준안정상태가 유지되는 메모리 시간을 조사해 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 selection 펄스의 크기와 폭은 각각 3 V, 1 ms이다. 그림에 나타낸 메모리 시간은 0°상태로 전이되어 이 상태를 유지하는 시간이며, 360°상태로 전이되어 유지되는 시간과 거의 일치하였다. 메모리 시간은 reset펄스의 에너지에 영향을 받고, selection펄스에는 거의 영향을 받지 않았다. 그림 8에서 reset펄스의 폭을 1 ms, 크기를 30 V로 하였을 때 메모리 시간은 129 ms이고, 폭을 1.8 ms, 크기를 30 V로 하였을 때 메모리 시간은 245 ms이다. 또한 그림 8에서 알 수 있듯이 reset펄스의 에너지가 증가할수록 메모리 시간이 증가하는 것을 알 수 있다.

다음에 selection펄스가 BTN셀의 쌍안정 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 먼저 reset펄스의 크기와 폭을 각각 30 V, 2 ms로 고정시키고, selection펄스의 크기와 폭이 BTN셀의 쌍안정 특성에 미치는 영향을 조사하여 그림 9에 나타내었다. 그림에서 19 V 이상의 selection전압 인가시 360°상태가 나타나는 것으로 준안정상태간의 임계 전압이 두 개 존재한다는 것을 알 수 있다. 그림에서 상대적으로 높은 임계 전압은 selection펄스의 폭이 40 μ s 이상의 넓은 범위에서 19 V로 일정하였으며, 낮은 임계 전압은 400 μ s 이상에서 1 V로 일정하였다. 셀을 매트릭스 형태로 구동할 경우 보다 많은 라인을 구동하기 위해서는 selection펄스의 폭이 좁아야 한다. 두 가지 준안정상태를 스윕칭하는데 있어 높은 임계 전압을 기준으로 스윕칭할 경우 임계 전압이 변하지 않기 때문에 안정적으로 스윕칭할 수 있으나 셀에 인가되는 전압이 증가하게 되는 단점이 있다. 반면, 낮은 임계 전압을 기준으로 준안정 상태를 선택할 경우 400 μ s 이하의 펄스 폭에서는 임계 전압이

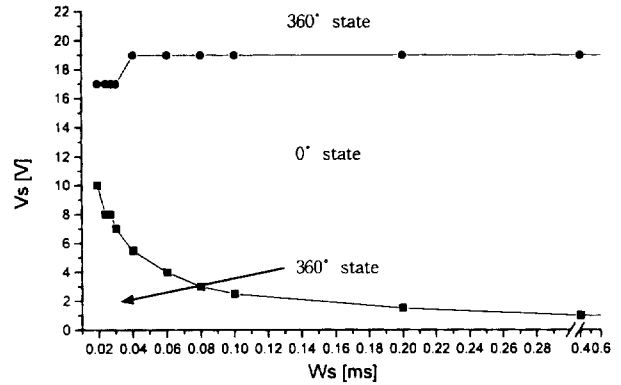


그림 9. 0°상태를 선택하기 위한 selection펄스의 폭에 따른 크기의 범위.

증가하므로 selection펄스의 폭에 따라 펄스의 크기를 증가시켜야 한다. 그리고 selection펄스 폭이 19 μ s 이하일 때는 0°상태만이 나타나 최소 selection펄스 폭은 19 μ s로 측정되었다.

또한 BTN셀에서 두 가지 준안정상태중 한 상태를 선택하는데 있어 reset펄스가 미치는 영향을 조사하였다. Reset펄스의 크기와 폭을 변화시켰을 때, 임의의 준안정상태를 선택하기 위한 selection펄스의 크기는 그림 9와 같은 결과를 보였다. 따라서 BTN셀에서 임의의 준안정상태를 선택하기 위한 selection전압은 reset펄스의 크기와 폭에 무관하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 셀 간격이 3 μ m인 BTN셀을 제작하여 전기 광학 특성을 조사하고 쌍안정 특성을 갖기 위한 BTN셀의 동작 조건 및 인가 파형의 특성을 조사하였다. 제작된 BTN셀은 rising time이 4 ms, falling time이 200 μ s로 STN에 비해 빠른 응답 속도와 높은 콘트라스트 비를 나타내었다. rubbing강도를 변화시켰을 때 표면 액정 분자의 pretilt각의 변화로 BTN셀이 쌍안정 특성을 갖기 위한 d/p의 범위가 변화함을 알았다. rubbing강도가 클수록 d/p의 범위는 넓게 나타났다. Reset펄스가 일정 에너지 이상에서 쌍안정 특성을 보였으며 신호의 메모리 시간은 reset펄스의 에너지에 비례하였다. selection펄스의 폭이 400 μ s 이상에서는 준안정 상태를 선택하기 위한 전압이 일정하였으며, 폭이 감소함에 따라 선택 전압 범위는 감소하였으며, selection전압 10~17 volts에서 최소 selection펄스 폭 19 μ s를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] 이승수, "STN 액정표시소자의 기술과 전망," 대한전자공학회지, 제22권, 제3호, p. 88, 1995년 3월.
- [2] Telecommunications Review, 한국이동통신 중앙연구원, vol. IV, no. 3, (1994).
- [3] Bahadur, Liquid Crystals : Applications and Uses, vol. I, World Scientific, (1990).
- [4] D.W. Berreman, "Bistable liquid crystal twist cell," United States Patent 4,239,345, Dec. 16, (1980).

- [5] D.W. Berreman and W.R. Heffner "New bistable liquid-crystal twist cell," J. Appl. Phys. vol. **52**, p. 3032, (1981).
- [6] T. Tanaka, Y. Sato, A. Inoue, Y. Momose, H. Nomura, and S. Iino, "A bistable twisted nematic(BTN) LCD driven by a passive-matrix addressing," Asia Display '95, p. 259, 1995. W.R. Heffner and D.W. Berreman, "Switching characteristics of a bistable cholesteric twist cell," J. Appl. Phys., vol. **53**, p. 8599, (1982).
- [7] 최길재, 김재창, 윤태훈, 남기곤, 김현숙, 이용상, "BTN 액정 셀의 광투과 특성," 제3회 광전자공학 학술회의 논문집, 한국통신학회, 대한전자공학회, pp. 161-163, 1996. 5.
- [8] 최길재, 강기형, 김재창, 윤태훈, 남기곤, 김현숙, 이용상, "BTN 셀의 동작 조건 및 구동 파형에 따른 특성," 제 13회 광학 및 양자전자학술 발표회, 한국광학회, p. 103, 1996.9.
- [9] 김양수, 김재창, 윤태훈, "Backflow를 고려한 액정의 동특성," 제13회 광학 및 양자전자학술 발표회, 한국광학회, p. 101, 1996.9.
- [10] D. W. Berreman, "Liquid-Crystal twist cell dynamics with backflow," J. Appl. Phys., vol. **46**, no. 9, pp. 3746-3751, (1975).
- [11] C. Z. von Doorn, "Dynamic behavior of twisted nematic liquid crystal layers in switched fields," J. Appl. Phys., vol. **46**, no. 9, pp. 3738-3745, (1975).
- [12] G. J. Choi, K. H. Kang, Y. S. Kim, T. H. Yoon, J. C. Kim, K. G. Nam, H. S. Kim, and E. S. Lee, "Numerical modeling and optical characteristics of a bistable-twisted-nematic LCD," SID Intl Symp Digest Tech Papers(to be published), (1997).
- [13] K. Y. Han, T. Uchida, "A study of the relation between surface alignment of polymers and liquid-crystal pretilt angle," Journal of the SID, vol. **3**, no. 1, pp. 15-21, (1995).

Optical transmission characteristics of a bistable TN LCD

Gil-Jae Choi, Yang-Soo Kim, Ki Hyung Kang, Tae Hyeog Jung, Tae-Hoon Yoon,
Jae Chang Kim and Ki Gon Nam

Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

Eung-Sang Lee

Samsung Display Devices, Ulsan 689-810, Korea

(Received : March 10, 1997)

We fabricated a bistable TN LCD with 180° twist angle and confirmed that it has a fast switching response time and a high contrast ratio. We also investigated the effects of the amplitude and width of the reset and selection pulses on a bistable TN LC cell and the conditions of the bistability and the memory time. The range of d/p values showing the bistability is determined for the pretilt angle according to the rubbing depth.